

# 复杂工业产品制造阶段生命周期清单数据获取方法:以轿车为例

王寿兵\* (复旦大学环境科学与工程系,上海 200433)

**摘要:** 准确可靠的工艺单元数据是开展产品生命周期清单分析和影响评价最重要的基础。目前开展的相关研究,由于数据获得性的问题,大多集中在结构或成分较为简单的工业产品。而利用相关数据库开展的生命周期清单分析,不能很好地满足对外公开的对比性评价或商业性应用需要。本文以国产轿车为例,研究提出了其制造阶段生命周期清单分析数据的获取方法,并通过理论研究和实践完善,设计出了一套系统化的数据收集表格,可用于机动车及类似复杂工业产品制造阶段生命周期清单数据获取。

**关键词:** 复杂产品; 生命周期清单; 数据获取; 方法; 实例

中图分类号: X82 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2016)11-3508-13

**The methods of data acquisition during manufacture stage for life cycle inventory of products with complex structure: Taking a car for example.** WANG Shou-bing\* (Department of Environmental Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433). *China Environmental Science*, 2016,36(11): 3508~3520

**Abstract:** The accurate and reliable process unit data is the most important bases for the life cycle inventory (LCI) and impact assessment of products. Up to now, the related studies, due to the difficulties of data acquisition, mainly have been focused on the products with simple structure or chemical composition. The LCI studies conducted, based on the related databases, are difficult to meet the requirement for comparative assessment or commercial purposes. In this paper, taking a car for example, the acquisition method of process unit data during manufacture stage for LCI was systematically investigated and proposed. A set of tables for data survey and gathering was designed and proposed through theoretical studies, field tests and further improving, which can be used for LCI of vehicles and other similar products with complex structure.

**Key words:** products with complex structure; life cycle inventory; data acquisition; methods; cases

生命周期评价(LCA)是“对一种产品或服务生命周期系统中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价”。其技术框架包括“目标和范围的界定、清单分析、影响评价和结果解释”等4个部分。其中,“生命周期清单分析”是LCA中对所研究产品整个生命周期中输入和输出进行汇编和量化的阶段,也是开展下一步的影响评价的基础<sup>[1]</sup>。

目前,有关生命周期清单分析方法的一般性论述已有许多<sup>[2-3]</sup>,但从实际应用看,这些论述要么过于理论化,要么仅能满足于结构较为简单,材质较为单纯的产品,如金属建材<sup>[4-8]</sup>、纸品、包装<sup>[9-12]</sup>、油品<sup>[13-15]</sup>、水泥<sup>[16-23]</sup>、电力<sup>[24-27]</sup>等,但对结构极为复杂的大型工业产品,如汽车、高铁、飞机、轮船等则难以满足要求。在LCA研究中,产品制造阶段清单分析数据往往是最难获得的,

对于结构极为复杂的工业产品而言更是如此。目前有关生命周期清单数据的时间独立性、不确定性分析等开展了一些研究<sup>[28-31]</sup>。而有关机动车方面的研究则多关注某些工艺、报废处置和新能源替代等方面<sup>[32-36]</sup>。为此,本文以某型轿车为例,重点研究其制造阶段生命周期清单分析数据的获取方法。

本文所称复杂工业产品,是指其组成零部件数量较多,涉及生产工艺环节和生产厂家也较多的一类工业产品。经理论研究和实证分析,复杂工业产品制造阶段生命周期清单分析数据的获取方法大体上包括以下六个方面:一是工作人员

收稿日期: 2016-04-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70871025)

\* 责任作者, 教授, sbwang@fudan.edu.cn

安排;二是确定产品系统边界;三是面向数据收集的产品结构划分;四是设计数据调查收集表格;五是数据调查收集方法;六是数据处理方法等.下文予以分别论述并提出切实可行的数据调查收集表格.

## 1 人员安排

制造阶段所涉及到的能源、资源消耗和环境排放数据几乎全部是产品制造厂家所特有的,不能用全国或全行业平均数据来进行粗略估计,因此,要进行制造阶段的清单分析,就必须要有生产厂家的实际生产数据.显然,像轿车这样技术含量高、结构复杂、数据保密性强的产品,如果没有生产厂家参加研究,是根本不可能完成的.鉴于此,在人员安排上,除了负责开展本项研究的 LCA 专家和技术人员外,还需要有轿车生产厂家(一般为集团公司)内具有重大决策权的一位高层领导和厂内专门负责环境保护、技术、管理、采购和销售等方面的多位工程师参与数据的收集和合作研究.参与研究的集团公司高层领导必须具有对下属子公司或分厂足够的领导权或行政权力,否则难以从下属子公司或分厂收集到相关清单数据.

## 2 确定产品系统边界

应根据研究的目标和所能获得的时间与人力资源情况,确定纳入分析的产品系统边界、数据范围及质量要求、假定条件和数据分配原则等.

### 2.1 确定需要考虑消耗的原材料种类

轿车生产所用原材料种类较多,可根据研究的需要,对其中最主要的原材料种类加以考虑.如笔者在研究某型轿车的过程中,仅考虑了钢材、铸铁、铜、铝、塑料、橡胶和车窗玻璃等七大类原材料和煤、石油两种一次性能源的消耗.

### 2.2 确定需要考虑的零部件和工艺过程

组成一辆轿车的零部件有成千上万个,涉及的生产工艺单元或单元过程数量巨大,显然,要得到每一个零部件制造过程具体的工艺数据是不现实的.必须根据研究目标和对实际生产过程的初步分析做出一定的取舍.如笔者在研究过程中,

仅考虑了轿车整车的组装过程及其一级配套件的制造或组装过程(一级配套件指直接用于整车装配的零件、分总成或总成等).二级配套件中(为一级配套件配套的零部件)仅考虑发动机、变速箱和驾驶室(车身)的零部件制造过程.所有零部件的质量边界为不小于 50g,即质量小于 50g 的零部件未纳入考虑范围.

### 2.3 确定需要收集的数据及质量要求

清单分析中一般需要收集物料、能源消耗以及环境排放等三大类数据,但每一大类数据下又包括有许多具体的种类,这需要在综合考虑研究目标和数据的可得性等因素后决定具体的种类.在数据质量方面,涉及到具体零部件生产过程的数据,应直接来源于具体的生产厂家,对数据质量要求较高.其他数据则可采用全国或行业平均数据,文献数据等,对数据质量要求相对可降低.

如笔者在研究过程中,轿车零部件重量、材料组成以及轿车制造过程的物料消耗(仅限于钢、铸铁、铝合金、铜、橡胶、塑料、玻璃、油漆 8 种原材料)、能源消耗、废水排放(COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、固体悬浮物、石油类)、废气(SO<sub>2</sub>、锅炉烟尘)、固体废物排放数据均直接来自生产厂家,具有较高的数据质量.其他废气成分(如 CO<sub>2</sub>、CO、N<sub>2</sub>O、HC、3,4-苯并芘、CH<sub>4</sub>、HCHO 等)和废水污染物(如重金属)数据则均根据全国平均水平能耗数据及废水排放量并结合相应的全国行业平均排污系数(来自文献)得到.数据质量较前者低.

### 2.4 其他假定条件

对数据收集过程中遇到的难题,可根据实际需要做一些简化处理.如由于难以收集到具体原材料生产过程中的数据,笔者在研究中假定所有用到的钢材(不论牌号)均为普通钢材.所有铝合金均当做普通铝材看待.铜材、橡胶、塑料、玻璃、油漆也一样,不分牌号和品种,均以总量计.还假定公司购买的配套件与本厂生产的同类零件有相同的平均工艺系数等.在能耗方面,由于我国电能中火电占主要部分,所以假定所有电能均为火电.发电能耗、物耗均为全国当年平均水平.

在物料的循环利用方面,则假定边角料和固

体废物在工厂外的回收利用(开环循环)经济价值所占比例不高,可忽略.

2.5 数据分配原则

对汽车工业而言,由于很少有厂家仅生产一种产品(而且产品材质也可能不同),也很少单独有某条生产线或某个零部件生产所需的原材料投入或环境排放数据,因此,多数情况下会涉及数据的分摊问题.笔者在研究过程中,选取了“产值比例”作为分摊的比例,即产值越大的产品,其分担额就大.并把零件的价格看作是单个零件的产值.这种选取方式是基于以下几点考虑:

对汽车这种产品而言,其零部件结构相当复杂,材料组成多种多样.因此,很难根据零部件的重量来进行数据分配.而即使该零部件材质均一,但由于很难得知其它连带产品的重量和材质信息,所以也很难按重量进行数据分配.

显然,按体积、摩尔质量等物理关系进行分

配也是不可能的.

对一个有多种产品的生产厂家而言,如果一种产品生产消耗的原材料多、能耗多、排污大,而产品价格反而低,这种情况是少见的,即使有可能只是暂时的,厂家迟早也要将这种产品淘汰.因此,采用产值进行分配,被认为是基本合理的.

3 面向数据收集的轿车结构划分

这是轿车这种复杂产品数据收集过程中要解决的难点之一.如果研究人员把一辆轿车人为拆解,然后针对拆解下来的零部件(包括总成、分总成等)去收集相关清单数据,则会发现,有的零部件根本找不到对应的生产厂家,而有的一个零部件就会涉及到数个甚至上百个生产厂家.这种方法显然难以实施.可行的方法应该是按照实际生产状况进行轿车结构的划分,这样才能从实际生产厂家获得清单数据.

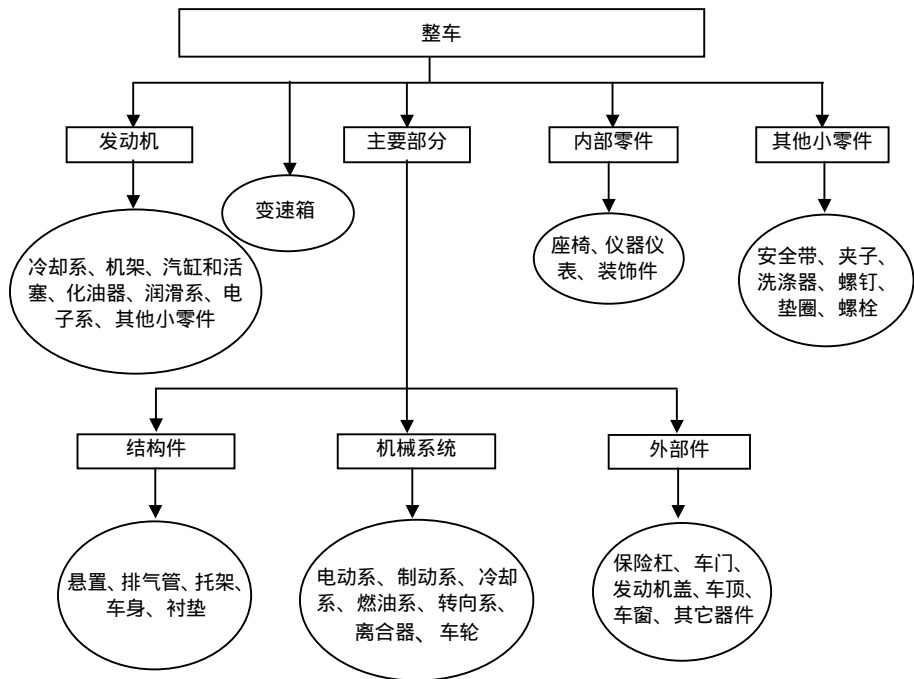


图 1 面向生命周期清单数据收集的轿车结构划分

Fig.1 The partition of car structure oriented to data acquisition for LCI

笔者在研究某轿车的过程中,发现该型轿车最初是 1980 年代从日本引进的,当时是从日本进口散件,然后到国内组装.这种轿车生产方式叫

CKD(completely knocked down).从 CKD 名细表可知,当时该轿车共拆分为 1080 个零件,其中 113 个属于变速箱,193 个属于发动机,其它 627 个直

接属于整车。

目前,该轿车已基本实现国产化,并且除极少一部分零件由外面的工厂提供外,绝大部分由集团公司下属的各分公司生产。但现在的零部件并不是完全按当时的 CKD 状态来生产的,有许多小的零部件重新组合后由一个生产厂家来生产,也有的零部件重新分成更小的部件后由不同的厂家来生产。因此,要想获得现有各零部件的生产数据,仅依据原有的 CKD 明细表进行调查是不可能的。显然,如果仅按常规的轿车结构划分,也有可能出现实际生产中这个零件并不存在的情况。

因此,要调查轿车制造的工艺数据,保证所获数据既不遗漏,也不重复,就必须对现有的生产组织状态有一个全面的了解。为此,必须会同公司有关的生产和技术专家,联系当前的实际生产状态对轿车结构进行重新划分。

图 1 为该轿车结构划分图。其中每一部分更细的划分由于篇幅所限,这里不再列出。

## 4 设计数据调查收集表格

### 4.1 轿车制造特点、难点分析

轿车制造的最大特点是厂与厂之间的互相协作较多。一个与轿车整车或发动机直接配套的零部件或总成、分总成一般很少由一个厂家独立完成。经常发生的情况有如:第一,由自己生产主要部分,然后再购进一些小的配套件(对整车而言为二级配套)安装上去;第二,从外面购买毛坯件来自己加工;第三,自己制造毛坯件,再送到别的协作厂家加工后再送回来;第四,自己制造一小部分,大部分从外面购进后组装等;第五,上述 4 种方式的混合。

因此,即使要得到其中某一个零部件制造过程的清单分析数据都不是一件容易的事。这也是国内外此类研究尚不多见的原因之一。对于含有协作成分的零部件(在轿车中占多数),很难从一个厂家直接得到制造该零部件总的原材料、能源消耗和环境排放数据。而如果要使所有输入、输出都是基本流的话,会将生产厂家追溯到很远,有的厂家可能在数千里之外,致使研究无法完成。这

也就是在研究之前要确定系统边界的原因之一。

轿车制造的另一个特点是所用原材料种类繁多,而且一个零部件中往往含有多种材质,如变速箱、发电机、发动机等就含有多种金属材料 and 非金属材料,这也为数据的收集增加了难度。

LCI 同时涉及到产品的物料消耗、能源消耗和环境排放。因此,数据调查会同时涉及同一生产厂家的多个技术部门,这也增加了数据调查难度。

### 4.2 数据调查表格设计方法

从前面的分析可以看到,能否设计出一套既能满足各类生产厂家、各类零部件的生产,又能满足生命周期清单分析要求的数据调查表格是决定研究能否成功的重要因素。这是一项难度极大的工作。为此,笔者采取的方法和步骤是:

第一步:到一些典型生产厂家实地考察轿车和零部件的生产过程;

第二步:会同总公司熟悉轿车结构和熟悉各厂生产状态的多名专家一起讨论、分析,让课题组成员熟悉情况。

第三步:由研究人员根据 LCA 所需要的数据要求初步设计出一套表格,之后召集公司负责能源、物资、销售、环保等部门的干部和前面提到的专家一起对表格进行讨论,提出修改意见,再由研究人员进行修改。这一步需反复进行,直到基本满意为止。

第四步:选择一个典型生产厂家进行表格试填。由课题组成员和总公司负责人和专家一同到生产厂家,先将该厂负责各部门的干部召集到一起,由研究人员介绍情况之后,将表格发给他们,不对表格内容作任何口头解释。由他们负责填写各自主管的那部分内容。若填写无任何困难或疑问,说明这一部分表格设计已达到要求。若有对方看不懂或不明白的地方,说明此处尚需进一步改正。

第五步:根据试填结果,再对表格进行修改,以便适合于工厂填写。再重复第四步工作,直到满意为止。

第六步:表格设计好以后,由总公司负责,以“红头文件”的形式寄送各分厂,要求各厂厂长派专人负责表格的填写工作。并要求在限定的期

限内寄回到总公司项目负责人.

4.3 设计出的表格

经过反复研究、试填、修改完善,共得到表格一套共 11 张(表 1-1~表 5-3),可适合于轿车制造各类生产厂家和不同类型产品数据的调查,各表对应的调查范围和对象如图 2 所示.各张表格可独立填写,但加起来又具有严密的逻辑性,保证生命周期清单分析所需要的数据都能得到.主要

涉及产品(零件)名称、产量、产值、重量、配套关系、生产该产品的原料、辅料消耗、配套件(名称、数量、重量、价格、原材料)、生产厂家全厂能源、废气、废水、固体废物排放等内容.在每一张表格下面都对表格所填内容作详细的解释,力求语义明确,简洁易懂.

附件 轿车制造阶段生命周期清单分析数据调查表

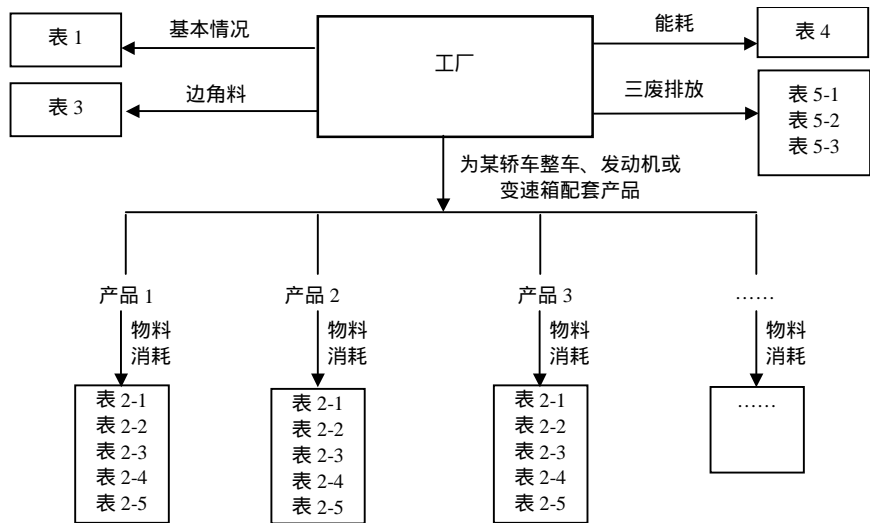


图 2 各数据调查表对应的调查范围和对象

Fig.2 The scope and objects of data collection forms

5 数据调查收集方法

数据调查表设计好之后,需要发放到各生产厂家(总公司和分厂)进行填写.为保证数据填写质量和及时回收调查表格,原则上应按以下方法进行.

第一,以总公司“红头文件”的形式将调查表格发放到各分厂厂长,并说明调查表回寄期限和地址、联系人等.第二,收到返回的调查表后,会同总公司专家逐项检查,发现疑点后,由总公司项目负责人打电话或亲自到分厂核实.

第三,将调查结果输入数据库,并对所获数据进行核算检查.如首先对零部件重量进行初步统计分析,然后将结果与整备质量进行比较,看还差多少,如果误差在允许的数据质量范围之内,则认为已基本达到要求,否则,还应作补充调查.如果

有超出整备质量的情况,说明数据有误,需进行仔细核实检查,看是否有重复计量的零部件或所填写的重量是否正确.如果重量不足,查明原因.最后实在没有办法,再由有关的技术专家进行估计.

6 数据处理方法

调查表中的数据只是清单分析所需要的原始数据,并不是按功能单位给出的.所以必须进行一些计算,如数据的分配等,以转化为清单分析数据.

6.1 材料组成

对材质均一的零件,其重量即作为该材质的重量.材质多样的零件(如发电机),若可得到组成配套件材质和重量信息,即可据此进行分类汇总.若无具体结构组成等相关信息,则根据文献资料或由专家进行估计,总的原则是以主要构成材料

为主.

6.2 物料消耗

完全由厂家自己生产的产品,如果厂家提供了生产该零件的总物料消耗,那只需除以该类零件的个数,即可得到生产单个该零件的物料消耗.物料消耗除以零件重量就是物料消耗系数.若零件中只有部分(其重量等于零件总重减去配套件重)是厂家自己生产的,而厂家又提供了这部分总的物料消耗,则可用同样的方法获得该部分的物料消耗.而其余由其他厂家提供的部分,则根据其材质特点(如塑料件的原料利用效率一般高于金属制品),用自身重量乘以其他有物料系数的同类材质的平均物料系数得到.如笔者得到某轿车不同材质零部件生产的平均物料系数如表 1 所示.

表 1 某轿车不同材质的零件生产平均物料系数

Table 1 The average coefficient of raw materials consumption for components manufacture of a car

零件材质	物料系数范围	平均值	标准差	系数个数	获得方式
钢(车身)	1.00~9.43	1.67(重量平均)	0.13	513	实际物料消耗/零件重
		1.93(系数平均)			
钢(其他)	1.00~25.01	2.63(系数平均)	1.55	99	实际物料消耗/零件重
铸铁	1.01~3.12	1.95(系数平均)	0.47	17	实际物料消耗/零件重
铝	1.02~1.50	1.28	0.17	5	实际物料消耗/零件重
塑料	1.00~2.36	1.43	0.45	29	实际物料消耗/零件重
铜		1.30			公司专家估计
橡胶		1.25			公司专家估计
玻璃		1.10			公司专家估计

6.3 能源、水资源消耗

能耗和水耗数据,往往会涉及数据分配问题.具体采取的方法为:如果只生产一种产品,并且完全由自己生产,则只需将总的能耗除以产品产量即可得到单位产品的能耗、水耗.如果只生产一种产品,而该种产品有一部分是从外边购买的,则用前面的除法所得到的数据只是自己制造那一部分和产品组装过程所需要的能耗和水耗.在这种情况下,外购部分的能耗和水耗可根据其在该产品价值中所占的比例进行计算,即认为外购部分的价值是自己生产那部分价值的几倍,则其能耗和水耗也就是其几倍.对于同时有多种产品产出的厂家,如果所有产品都由自己制造,则按产品产值进行分配.这种情况下,如果产品功用、结构比较一致,则结果将更为真实.如果有的产品全部由自己制造,而另一部分产品含有外购配套件,或者兼而有之,在这种情况下,分配结果的真实程度将取决于工厂产品间的对比关系.如外购件所占的重量、产值等.总之,这种情况下分配结果的真实性是很难确定的.这是需要最后特别注意的问题.

6.4 三废排放

废水和固体废物排放根据产品产值进行分配,这里的情形与能源和水消耗有类似之处.大气污染物中 SO<sub>2</sub>、锅炉烟尘排放量也根据厂家提供的数据,按产值进行分配.而其它污染物如 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、NO<sub>x</sub> 等则可根据其耗煤量、耗油量与平均排污系数来计算.平均排污系数可根据各公司工业锅炉平均规模和炉型,然后根据国家公布的相关排污系数进行选取确定.

7 结论

LCA 方法虽然在国内已有广泛应用,但针对诸如轿车等结构复杂的产品开展的研究还不多见.主要原因之一是其制造阶段涉及的工艺环节和零部件太多,生命周期清单数据难以获得.本文以国产某型轿车为例,重点研究并提出了其制造阶段生命周期清单分析数据的获取方法,主要包括数据收集的人员安排、产品系统边界确定、轿车结构划分、数据调查收集表格设计、数据调查收集方法、数据处理方法等.通过理论研究和实地检验完善,设计出了一套系统化的数据收集表格,可用于机动车制造阶段生命周期清单数据

获取,同时也可供其他复杂工业产品开展 LCA 研究参考。

#### 参考文献：

- [1] ISO14040. Environmental management-life cycle assessment principles and framework [S]. ISO, 2006.
- [2] ISO14044.Environmental management-life cycle assessment Requirements and guidelines [S]. ISO, 2006.
- [3] 王寿兵,吴 峰,刘晶茹.产业生态学 [M]. 北京:化学工业出版社, 2006.
- [4] Dorota B K. Life cycle assessment of steel production in Poland: a case study [J]. Journal of Cleaner Production, 2013,54:235-243.
- [5] Pilar S, Jo D.Quantifying the impacts of primary metal resource use in life cycle assessment based on recent mining data [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2013,73:180-187.
- [6] Olmez G M, Dilek F B, Karanfil T. The environmental impacts of iron and steel industry: a life cycle assessment study [J]. Journal of Cleaner Production, 2016,130:195-201.
- [7] Rixrath D, Wartha C. Comparison of different building shells - life cycle assessment [J]. Integrated Environmental Assessment and Management, 2016,12(3):437-444.
- [8] 陈伟强,万红艳,武娟妮,等.铝的生命周期评价与铝工业的环境影响 [J]. 轻金属, 2009,(5):3-10.
- [9] Montse M, Jorgelina P, Francesc C. Environmental assessment of the milk life cycle: The effect of packaging selection and the variability of milk production data [J]. Journal of Environmental Management, 2012,107:76-83.
- [10] 谢明辉,李 丽,黄泽春.典型复合包装的全生命周期环境影响评价研究 [J]. 中国环境科学, 2009,(7):773-779.
- [11] Saleh Y.Comparative life cycle assessment of beverages packages in Palestine [J]. Journal of Cleaner Production, 2016,131:28-42.
- [12] Singh J, Krasowski A, Singh S P. Life cycle inventory of HDPE bottle-based liquid milk packaging systems [J]. Packaging Technology and Science, 2011,24(1):49-60.
- [13] David D H. Life cycle assessment of gasoline and diesel produced via fast pyrolysis and hydroprocessing [J]. Biomass and Bioenergy, 2012,45:41-47.
- [14] Peters J F, Iribarren D, Dufour J. Simulation and life cycle assessment of biofuel production via fast pyrolysis and hydrougrading [J]. Fuel, 2015,139:441-456.
- [15] Querini F, Beziat J C, Morel S. Life cycle assessment of automotive fuels: critical analysis and recommendations on the emissions inventory in the tank to wheels stage [J]. International Journal of Life Cycle Assessment, 2011,16(5):454-464.
- [16] Alejandro J, Antonio A, Arnaldo C, et al. Comparative analysis of the life cycle impact assessment of available cement inventories in the EU [J]. Cement and Concrete Research, 2007,37:781-788.
- [17] Chen L, Zuoren N, Suping C, et al. The Life Cycle Inventory Study of Cement Manufacture in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2014,72(6):204-211.
- [18] Vanden H P, De B N. Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and 'green' concretes: Literature review and theoretical calculations [J]. Cement and Concrete Composites, 2012,34(4):431-442.
- [19] César V, Ricard G, José L C, et al. Implementation of best available techniques in cement manufacturing: a life-cycle assessment study [J]. Journal of Cleaner Production, 2012,25: 60-67.
- [20] 姜 睿,王洪涛,张 浩,等.中国水泥生产工艺的生命周期对比分析及建议 [J]. 环境科学学报, 2010,11:2361-2368.
- [21] Andres S D, Diego R A, Raul R C. Environmental impacts, life cycle assessment and potential improvement measures for cement production: a literature review [J]. Journal of Cleaner Production, 2016,113:114-122.
- [22] Stafford F N, Dias, A C, Arroja L. Life cycle assessment of the production of Portland cement: a Southern Europe case study [J]. Journal of Cleaner Production, 2016,126:159-165.
- [23] 刘顺妮,林宗寿,张小伟.硅酸盐水泥的生命周期评价方法初探 [J]. 中国环境科学, 1998,18(4):328-332.
- [24] Chen G, Chen B, Zhou H, et al. Life cycle carbon emission flow analysis for electricity supply system: A case study of China [J]. Energy Policy, 2013,61:1276-1284.
- [25] Gagnon L, Bélanger C, Uchiyama Y. Life-cycle assessment of electricity generation options: The status of research in year 2001 [J]. Energy Policy, 2002,30(14):1267-1278.
- [26] Castelazo E S, Gujba H, Azapagic A. Life cycle assessment of electricity generation in Mexico [J]. Energy, 2011,36(3):1488-1499.
- [27] Atilgan B, Azapagic A. An integrated life cycle sustainability assessment of electricity generation in Turkey [J]. Energy Policy, 2016,93:168-186.
- [28] Tiruta-Barna L, Pigne Y, Gutierrez Tomas N. Framework and computational tool for the consideration of time dependency in Life cycle inventory: proof of concept [J]. Journal of Cleaner Production, 2016,116:198-206.
- [29] Cooper J S, Noon M, Kahn F. Parameterization in Life Cycle Assessment inventory data: review of current use and the representation of uncertainty [J]. International Journal of Life Cycle Assessment, 2012,17(6):689-695.
- [30] Andre J C S, Lopes D R. On the use of possibility theory in uncertainty analysis of life cycle inventory [J]. International Journal of Life Cycle Assessment, 2012,17(3):350-361.
- [31] Cooper J, Fava J, Simonen K. Status of North American life cycle

inventory data [J]. Journal of Industrial Ecology, 2012,16(3):287-289.

[32] Rivera J L, Reyes-Carrillo T. A life cycle assessment framework for the evaluation of automobile paint shops [J]. Journal of Cleaner Production, 2016,115:75-87.

[33] Li, W C, Bai H T, Yin J F. Life cycle assessment of end-of-life vehicle recycling processes in China-take Corolla taxis for example [J]. Journal of Cleaner Production, 2016,117:176-187.

[34] Tagliaferri C, Evangelisti S, Acconcia F. Life cycle assessment of future electric and hybrid vehicles: A cradle-to-grave systems engineering approach [J]. Chemical Engineering Research & Design, 2016,112:298-309.

[35] 杨 茹,冯 超,张耀伟,等.混合动力汽车的全生命周期评价[J]. 新能源进展, 2014,2(2):151-156.

[36] 施晓清,孙赵鑫,李笑诺,等.2015.北京电动出租车与燃油出租车生命周期环境影响比较研究 [J]. 环境科学, 2015,(3):1105-1116.

作者简介：王寿兵(1970-),男,四川富顺人,教授,博士,主要研究方向为产业生态学和湖泊生态修复.发表论文 70 余篇.

附件：

表 1-1 给某型轿车配套的产品 xx 年生产情况

Table 1-1 Survey on the products (assemblies and components) manufactured for a car in xx year

本企业名称:\_\_\_\_\_ xx 年全厂总产值(万元):\_\_\_\_\_

产品名称	xx 年实际完成		单台重量 (kg)	单车用量 (台、套)	配套 关系
	产量(台、套)	产值(万元)			

1 填表说明  
1.1 表头上的“总产值”是指本厂 xx 年所有产品(不仅仅包括为某型轿车配套产品)年报总产值,按 xx 年不变价计。  
1.2 第 1 栏的“产品名称”仅填写直接为某型轿车整车、发动机或变速箱配套的总成、零部件,以随文件寄去的产品明细为准分别填写。  
1.3 第 2、3 栏“产量和产值”是指第 1 栏所填产品在 xx 年度实际完成的产量和产值,产值也以 xx 年不变价计。第 4 栏“单台重量”是指所填产品每台份的净重,有图纸的按图纸,没有的按实际称重。第 5 栏“单车用量”是指装配一辆某型轿车所需这种产品(零部件或总成)的台(套)数,第 6 栏“配套关系”,根据本厂供货关系,分别填写“整车”、“发动机”或“变速箱”。  
2 注意事项  
要求统一用碳素钢笔填写,字迹工整,不潦草,数据准确、可靠,小数点后保留两位有效数字。若产品较多,表格不够用请根据实际需要自行复印后再填写或用 A4 纸自行制作成类似表格。

填表人:\_\_\_\_\_ 所在部门:\_\_\_\_\_ 填表日期:\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

表 2-1 给某型轿车配套的各产品自制部分 xx 年物料消耗情况

Table 2-1 Survey on the raw materials consumption for the self-made parts from products(assemblies and components) manufactured for a car in xx year

本企业名称:\_\_\_\_\_ 产品名称:\_\_\_\_\_

物料名称	xx 年消耗量	单价(元)	供货厂家(全称)	备注
钢材(t)				
铜材(t)				
铝(t)				
合金(t)				
塑料(t)				
橡胶(t)				
玻璃(km <sup>2</sup> )				
油漆 (t)				
人造革(t)				
其 它				



1 填表说明

1.1 本表和后面的表 2-2、2-3、2-4、2-5 是针对同一种产品的一套表,本表目的是要弄清本厂给某轿车整车、发动机或变速箱配套的每种产品自制部分的生产 xx 年全年所耗物料的情况,因此,有多少种产品就应填写多少张表格,如果本厂只有所有产品(或数种产品)总的物料消耗数据而又无法分开时,就请填写这些总的物耗量,但必须在表中注明是哪些产品所耗用的物料量。

1.2 表头“产品名称”就是本厂给某轿车整车、发动机或变速箱配套的一种产品名称。第 1 栏“物料名称”中,钢材请按牌号分类填写,铜材、合金、塑料、橡胶请填写出具体的产品名称,请用文字填写(如聚乙烯、聚苯烯等),不要用代号、代码或英文缩写等。第 3 栏的“单价”是指单位重量、体积或面积的这种物料进厂时的价格,计价时要注意与第 2 栏中消耗量的单位保持一致,即用元/吨或元/米等。第 4 栏的“供货厂家”若有多家的,请填写距离最近的一家的全称,以便联系。

2 注意事项 同表 1。

填表人:\_\_\_\_\_ 所在部门:\_\_\_\_\_ 填表日期:\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

表 2-2 给某轿车配套的各产品的生产 xx 年辅料消耗情况

Table 2-2 Survey on the auxiliary materials consumption for the products(assembly and components) manufactured for a car in xx year

本企业名称:\_\_\_\_\_ 产品名称:\_\_\_\_\_

辅料名称	xx 年消耗量	单价(元)	主要成分	供货厂家(全称)	备注

1 填表说明

1.1 本表与前面的表 2-1 和后面的表 2-3、2-4、2-5 是针对同一种产品的一套表,本表目的是要弄清本厂给某轿车整车、发动机或变速箱配套的每种产品在生产过程中 xx 年全年所耗辅料的的情况,因此,有多少种产品就应填多少张表格,如果本厂只有所有产品或数种产品所消耗辅料的总量数据而根本无法分开时,就请填写这些总的辅料消耗量,但必须在表中注明是哪些产品所耗用的辅料量,填写时不要忘记写上所使用的数据单位。

1.2 表头“产品名称”是本厂给某轿车整车、发动机或变速箱配套的一种产品名称,注意应与表 2-1 所填产品名称一致。

1.3 辅料”是指在该产品的生产、加工等过程中使用但不直接进入产品中的一些如清洗液、冷却液、切削液、棉纱等物质,要求填写出辅料的具体中文名称。

1.4 第 3 栏的“单价”指单位重量、体积或面积的这种辅料进厂时价格,计价时要注意与第 2 栏中消耗量单位保持一致。

1.5 第 5 栏的“供货厂家”若有多家的,请填写距离最近的一家的全称,以便联系。

2 注意事项 同表 1。

填表人:\_\_\_\_\_ 所在部门:\_\_\_\_\_ 填表日期:\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

表 2-3 给某轿车配套的各产品毛坯件使用情况

Table 2-3 Survey on the blanks or semi-finished parts for the products (assemblies and components) manufactured for a car

本企业名称:\_\_\_\_\_ 产品名称:\_\_\_\_\_

毛坯件名称	单台用量	单件重(kg)	单件价格(元)	材 质	供货厂家(全称)

1 填表说明

1.1 本表与前面的表 2-1、2-2 和后面的表 2-4、2-5 是针对同一种产品的一套表,本表目的是要弄清本厂 xx 年给某轿车整车、发动机或变速箱配套的每一种产品所使用的毛坯件情况,因此,有多少种产品使用了毛坯件就应填多少张表格。

1.2 表头“产品名称”就是本厂给某轿车整车、发动机或变速箱配套的一种产品名称,注意应与表 2-1 所填产品名称一致。

1.3 第 1 栏“毛坯件名称”必须全部用中文填写,第 2 栏“单台用量”指生产单台(套)产品所用的毛坯件个数,第 3 栏“单件重”是指单个毛坯件在进厂时的重量,有图纸的按图纸,没有的按实际称重,第 4 栏“单件价格”指单个该毛坯件的进厂价(含运杂费),第 5 栏材质有多少种就填多少种,且必须全部用中文填写,不许用代号或代码等填写,第 6 栏的“供货厂家”若有多家的,请填写距离最近的一家的全称,以便联系。

2 注意事项 同表 1。

填表人:\_\_\_\_\_ 所在部门:\_\_\_\_\_ 填表日期:\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

表 2-4 给某轿车配套的各产品所使用的协作配套情况

Table 2-4 Survey on the outsourced parts for the products (assemblies and components) manufactured for a car

本企业名称: \_\_\_\_\_ 产品名称: \_\_\_\_\_

配套件名称	使用数量(件)	单件重(kg)	单 价(元/件)	材 质	配套厂家(全称)

1 填表说明

1.1 本表与前面的表 2-1,2-2,2-3 和后面的表 2-5 是针对同一种产品的一套表,本表的目的是要弄清本厂 xx 年给某轿车整车、发动机或变速箱配套的每一种产品所使用的协作配套情况,因此,有多少种产品使用了协作配套,就应填写多少张表格。

1.2 表头“产品名称”就是本厂给某轿车整车、发动机或变速箱配套的一种产品名称,注意应与表 2-1 所填产品名称一致。

1.3 第 1 栏“配套件名称”是指与表头所填产品相配套的外协零部件名称,第 2 栏“使用数量”是指单台(套)该产品中使用这种配套件的个数,第 3 栏“单件重”是指单个该配套件的重量,有图纸的,按图纸,没有的按实际称重,第 4 栏“单价”指该配套件的进厂价(含运杂费),第 5 栏“材质”若有多种,请用中文分别填写,不许用代码或代号等,第 6 栏“配套厂家”若有多家的,请填写距离最近的一家的全称,以便联系。

2 注意事项

同表 1.

填表人: \_\_\_\_\_ 所在部门: \_\_\_\_\_ 填表日期: \_\_\_\_年\_\_月\_\_日

表 2-5 给某轿车配套的各产品工艺协作情况

Table 2-5 Survey on the outsourced processes for the products (assemblies and components) manufactured for a car

本企业名称: \_\_\_\_\_ 产品名称: \_\_\_\_\_

协作工艺名称	零部件名称	年协作量(件)	协作厂家(全称)

1 填表说明

1.1 本表和前面的表 2-1,2-2,2-3,2-4 是针对同一产品的一套表,本表的目的是要弄清本厂给某轿车整车、发动机或变速箱配套的每一种产品所使用的工艺协作情况,因此,有多少种产品使用了工艺协作,就应填写多少张表格。

1.2 表头“产品名称”就是本厂给某轿车整车、发动机或变速箱配套的一种产品名称,注意应与表 2-1 所填产品名称一致。

1.3 第 1 栏“协作工艺名称”指表头所填产品中自制部分包含的协作工艺,如 电镀、喷漆或热处理等,第 2 栏“零部件名称”指该产品中哪部分零部件是通过工艺协作完成的,第 3 栏“年协作量”是指 xx 年全年工艺协作的零部件总量,第 4 栏“协作厂家”是指为该产品提供协作工艺的厂家,若有多家的,请填写距离最近的一家的全称,以便联系。

2 注意事项

同表 1

填表人: \_\_\_\_\_ 所在部门: \_\_\_\_\_ 填表日期: \_\_\_\_年\_\_月\_\_日

表 3 xx 年全厂下角料再循环利用情况

Table 3 Survey on the recycling of scrap materials from manufacturers in xx year

本企业名称: \_\_\_\_\_

边角料名称	年产生量(kg)	厂内循环利用量(kg)	出售量(kg)	出售收入(元)	备注

1 填表说明

1.1 本表是调查本厂全厂 xx 年各种下角料的产生和利用等基本情况,本表下角料是指直接用于产品制造的原材料的下角料,如碎橡胶、碎玻璃、铁屑等。

1.2 第 2 栏“年产生量”是指本厂 xx 年全年所有产品的生产过程中产生的该种下角料的量,第 3 栏“厂内再循环利用量”是指由本厂自己回收利用的这种下角料的量(不管这些下角料用于生产何种产品),第 4 栏“出售量”是指在产生的下角料中由本厂卖给其它需要的用户的量,而不管他拿来干什么,第 5 栏的“出售收入”就是指出售的那部分下角料带来的收入。

2 注意事项

同表 1

填表人: \_\_\_\_\_ 所在部门: \_\_\_\_\_ 填表日期: \_\_\_\_年\_\_月\_\_日

表 4 xx 年全厂能耗情况调查

Table 4 Survey on the consumption of energy from manufacturers in xx year

本企业名称:\_\_\_\_\_

能源名称		单位	xx 年消耗量	备注
新鲜水		t		
煤		t		
焦炭		t		
电		kW·h		
重油		kg		
中油		kg		
轻油		kg		
汽油		kg		
煤油		kg		
柴油		kg		
丁烷		kg		
丙烷		kg		
天然气		m <sup>3</sup>		
润滑油		kg		
油脂		kg		
其他				

1 填表说明

1.1 本表是调查本厂 xx 年全年所有产品的生产所耗用的能源情况.第 1 栏“能源名称”是指本厂所有产品的生产中所耗用的各种能源名称.若使用了表中未列出的能源,请在“其它”项中分别填入.

1.2 第 3 栏“xx 年消耗量”是指本厂在产品生产和管理等活动中 xx 年全年所消耗的该种能源的总量.注意不包括为其他单位或宿舍区等提供的能源,也不包括原材料或产品等的运输所消耗的能源.

2 注意事项

同表 1.

填表人:\_\_\_\_\_所在部门:\_\_\_\_\_填表日期:\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

表 5-1 xx 年全厂废气排放情况

Table 5-1 Survey on the exhaust emissions from manufacturers in xx year

本企业名称:\_\_\_\_\_

废气排放	单位	数量(20xx 年)	备注
废气排放总量	m <sup>3</sup>		
其中可能的成份浓度:			
CO	mg/m <sup>3</sup>		
CO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>		
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>		
CH <sub>4</sub>	mg/m <sup>3</sup>		
H <sub>2</sub> S	mg/m <sup>3</sup>		
硫醇	mg/m <sup>3</sup>		
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> )	mg/m <sup>3</sup>		
氨	mg/m <sup>3</sup>		
氯	mg/m <sup>3</sup>		
氯化氢(HCl)	mg/m <sup>3</sup>		
氟	mg/m <sup>3</sup>		

氟化氢(HF)		mg/m <sup>3</sup>		
(乙)醛		mg/m <sup>3</sup>		
油脂		mg/m <sup>3</sup>		
铅		mg/m <sup>3</sup>		
汞		mg/m <sup>3</sup>		
锌		mg/m <sup>3</sup>		
锡		mg/m <sup>3</sup>		
锅炉烟尘		mg/m <sup>3</sup>		
工业粉尘		mg/m <sup>3</sup>		
其他		mg/m <sup>3</sup>		
		mg/m <sup>3</sup>		
		mg/m <sup>3</sup>		

1 填表说明

1.1 “废气排放总量”指本厂全厂区内产品生产、管理等活动中过程中 xx 年全年排放的所有废气的总量,注意不包括厂区内职工生活排放的废气。

1.2 “成分浓度”指本厂排放的废气中所监测成分的浓度,具体数据以本厂 xx 年度的监测结果为准,有几项就填写几项,若没有 xx 年监测数据,请以最近一次的监测结果为准,但要注明时间,若没有数据,请略作说明,若有的监测项目在表中未列出,请填入“其他”项,若本年度共监测了数次,则填上几次监测所得的平均值。

2 注意事项

同表 1.

填表人:\_\_\_\_\_所在部门:\_\_\_\_\_填表日期:\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

表 5-2   xx 年全厂废水排放情况

Table 5-2   Survey on the wastewater discharge from manufacturers in xx year

本企业名称:_____			
废水排放	单位	数量(20xx 年)	备注
废水排放总量	t		
其中可能成份的浓度:			
CODcr	mg/L		
BOD <sub>5</sub>	mg/L		
Pb <sup>+</sup>	mg/L		
Fe <sup>2+</sup>	mg/L		
Cr <sup>3+</sup>	mg/L		
Zn <sup>2+</sup>	mg/L		
汞离子	mg/L		
H <sup>+</sup>	mg/L		
氨离子	mg/L		
氯离子	mg/L		
氟离子	mg/L		
氰离子	mg/L		
硫离子	mg/L		
油	mg/L		
总磷	mg/L		
总氮	mg/L		
悬浮物	mg/L		
溶解有机质	mg/L		
碳氢化合物	mg/L		
有机氯	mg/L		
其它	mg/L		

		mg/L		
1 填表说明				
1.1 “废水排放总量”指本厂全厂区内产品生产、管理等活动中xx年全年排放的所有废水的总量,注意不包括厂区内职工居住区排放的废水。				
1.2 “成分浓度”指本厂排放的废水中所监测成分的浓度,具体数据以本厂xx年度的监测结果为准,有几项就填写几项,若没有xx年监测数据,请以最近一次的监测结果为准,但要注明时间,若没有检测数据,请略作说明,若有的监测项目在表中未列出,请填入“其它”项,若本年度共监测了数次,则填上几次监测所得的平均值。				
2 注意事项				
要求统一用碳素钢笔填写,字迹工整,不潦草,数据准确、可靠,小数点后保留两位有效数字,注意所填数值大小要和数据单位一致。				

填表人:\_\_\_\_\_所在部门:\_\_\_\_\_填表日期:\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

表 5-3 xx 年全厂固体废物产生及利用情况

Table 5-2 Survey on the generation and recycling of solid wastes from manufacturers in xx year

本企业名称:\_\_\_\_\_

固体废物名称	产生量(t)	利用量(t)	利用收入(元)	备注
1 填表说明				
第 1 栏“固体废物名称”是指本厂区内产品生产和管理等过程中产生的固体状废物,如粉煤灰、煤渣、生活垃圾等(不包括下角料);第 2 栏“产生量”是指该种固体废物在 xx 年全厂全年产生的总量;第 3 栏“利用量”指在这些固体废物中,由自己综合利用(如用粉煤灰造砖)或作为资源卖给其它用户的量;第 4 栏“利用收入”是指被综合利用或卖给别的用户的那部分固体废物所得的收入。				
2 注意事项				
同表 1。				

填表人:\_\_\_\_\_所在部门:\_\_\_\_\_填表日期:\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日